

THALES ROBERTO FONTES SAKAMOTO

**MODELOS DE PREVISÃO DE PREÇOS DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL AO
PRODUTOR**

Trabalho de Formatura Apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do diploma de Engenheiro de Produção

**São Paulo
2010**

THALES ROBERTO FONTES SAKAMOTO

**MODELOS DE PREVISÃO DE PREÇOS DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL AO
PRODUTOR**

Trabalho de Formatura Apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do diploma de Engenheiro de Produção

Orientadora:

Profª Drª Celma de Oliveira Ribeiro

**São Paulo
2010**

FICHA CATALOGRÁFICA

Sakamoto, Thales Roberto Fontes

**Modelos de previsão de preços de álcool combustível ao produtor / T.R.F. Sakamoto. -- São Paulo, 2010.
93 p.**

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Etanol (Custos; Previsão; Modelos) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

Aos meus pais Roberto e Antonia e minha irmã Érika

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que tanto se dedicaram ao crescimento e formação sólida dos seus filhos, não só pela atenção e afeto concedidos, mas também pela dura trajetória por eles percorrida que hoje nos possibilita trabalhar com o que gostamos e o que queremos e espero atender a todas as suas expectativas com excelência e justiça.

Aos mestres que orientaram meu caminho até este ponto: ao professor Ricieri, por apresentar a matemática de uma forma bela e muito interessante e pela grande inspiração para que iniciasse meus passos.

Ao professor Marcelo D. pelo grande exemplo de liderança e comportamento ético, é alguém que agradeço pelas inúmeras portas abertas, pelo desenvolvimento pessoal e profissional.

À professora Celma pela orientação individual e capacitação de minhas habilidades técnico-científicas, sempre com muito rigor, método e um charme particular.

Ao Sydnei pela inestimável contribuição com a implementação do filtro de Kalman e grande atenção dedicada mesmo em momentos de muito stress.

À Marjorie por me apresentar todos os dados e outras inúmeras informações relevantes do setor sucroalcooleiro e compartilhar comigo grande interesse no setor e seus desafios.

Ao Luiz Satolo, pela contribuição definitiva ao apresentar os ricos textos da ESALQ, pela paciência e persistência ao discutir inúmeras vezes o modelo e finalmente pela sua inspiradora paixão pelo assunto.

RESUMO

Este trabalho consiste na discussão de premissas e hipóteses que validam um modelo quantitativo de previsão de preços de álcool ao produtor. Ao final três métodos de previsão quantitativos são realizados, testados e comparados para determinação daquele que melhor explica a série de preços.

Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica e mapeamento dos principais processos do setor para compreender o histórico, tendências e variáveis relevantes. Em seguida foram testadas hipóteses de explicação da série de preços, baseadas nos conceitos revistos em bibliografia. Variáveis foram confrontadas e testes com critérios estatísticos foram aplicados em busca da imparcialidade, generalidade e capacidade de explicação do modelo obtido. Como última etapa foram realizadas previsões para os próximos 8 meses e comparados os resultados segundo as medidas de erro padrão. Um modelo, considerado como melhor explicativo foi escolhido segundo o critério de minimização deste erro.

Ao final concluímos que a metodologia holística de previsão (discussão das premissas que fundamentam o modelo e aplicação do modelo em si) que foi utilizada neste trabalho pode ser utilizada com sucesso em safras posteriores.

Palavras-chave: Previsão de preços. Modelo em séries temporais. Setor sucroalcooleiro.

ABSTRACT

This work discusses assumptions that validate a quantitative model to predict the producer's ethanol prices. At the end three quantitative models are made, tested and compared to determine the one that best explains the price series.

We first performed a review of the literature and mapped the key processes in the industry to understand the history, trends and relevant variables. Later we tested the hypotheses that could explain the price series based on the concepts revised on the bibliographic references. Variables were compared and statistical tests were applied in pursuit of fairness, and the capacity to best explain the series under study. As the last step predictions for the next 8 months were made and the results were compared using the standard error measures. One model, regarded as the one that best explains was chosen according to this error criteria.

At the end we concluded that the holistic approach (discussion of the assumptions underlying the model and application of the model itself) that was used in this work can be successfully used on later crops.

Keywords: Forecast prices. Time Series Model. Sugar-alcohol industry.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Empresa de Bioenergia: Principais Produtos.	1
Figura 2 - Organograma da empresa.	1
Figura 3 - Desenho da área comercial e subárea de int. Mercado.	2
Figura 4 – Plano logístico e suas informações.	3
Figura 5 - Níveis de planejamento e integração das várias etapas	4
Figura 6 - Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil, por região produtora.	8
Figura 7 – Açúcar e álcool: evolução do mix de produção e do preço relativo do Brasil, de 1976 a 2006.	9
Figura 8 – Evolução da produção de álcool hidratado e frota movida a álcool em circulação no Brasil, de 1976 a 2006.	10
Figura 9 – Síntese de remuneração aos fornecedores de cana-de-açúcar.	11
Figura 10 – Evolução do preço real de cana-de-açúcar e do ATR no estado de São Paulo, de 1976 a 2006.	12
Figura 11 – Evolução do preço real de cana-de-açúcar e do ATR no estado de São Paulo, de 2002 a 2010.	12
Figura 12 – Regiões de produção de cana-de-açúcar no Brasil.	13
Figura 13 - Processos da etapa agrícola.	13
Figura 14 – Plantio mecanizado	14
Figura 15 – Plantio manual.	14
Figura 16 – Gema da cana	14
Figura 17 – Zona radicular da cana	14
Figura 18 – Corte manual pós-queimada.	15
Figura 19 – Colheita mecanizada	15
Figura 20 – Trator reboque e conjunto Romeu e Julieta	15
Figura 21 - Variação sazonal do preço do álcool combustível no Estado de São Paulo.	16
Figura 22 - Processos da etapa industrial	16
Figura 23 – Lavagem da cana.	16
Figura 24 – Extração do caldo da cana.	16
Figura 25 - Tacho para cozimento do açúcar	18
Figura 26 - Colunas de destilação na usina Santa Adélia.	18
Figura 27 - Produtos da indústria sucroalcooleira e sua comercialização	19
Figura 28 – Distribuição da produção mundial de açúcar.	23
Figura 29 – Produção: países exportadores de açúcar	23
Figura 30 – Produção: países importadores de açúcar	23
Figura 31 – Balanço oferta/demanda de açúcar de 1983 a 2009	24
Figura 32 – Série de preços de açúcar de jan/2002 a dez/2009.	24
Figura 33 – Crescimento dos setores que utilizam açúcar na China.	26
Figura 34 – Evolução dos preços de açúcar cristal e etanol hidratado (2002-2010).	27
Figura 35 - Evolução dos preços de gasolina C e preço do petróleo Brent (2002-2009).	28
Figura 36 - Evolução do consumo de etanol e a paridade preço etanol hidratado (no posto de gasolina)/gasolina C (2006/2010).	29
Figura 37 – Cadeia produtiva do etanol.	29
Figura 38 - Relação entre o álcool hidratado combustível no varejo e a margem absoluta total de comercialização deste produto.	30
Figura 39 – Classificação dos métodos de previsão.	31

Figura 40 - Processo estocástico como uma família de variáveis aleatórias.	32
Figura 41 – Processo estocástico como uma família de trajetórias.	32
Figura 42 – A série temporal como uma realização de um processo estocástico.....	33
Figura 43 – Série não estacionária em nível e tendência.....	33
Figura 44 – Série não estacionária.....	34
Figura 45 – Série estacionária obtida após aplicação da primeira diferença.....	34
Figura 46 – Claro comportamento de tendência de alta de uma série.....	35
Figura 47 – Claro comportamento de sazonalidade de uma série.	35
Figura 48 – multicolineariedade explicada graficamente.....	38
Figura 49 – Matriz de correlações.	39
Figura 50 – Racionalidade do filtro de Kalman	43
Figura 51 – Racionalidade do filtro de Kalman em detalhes	44
Figura 52 – Metodologia de estudo da série.....	46
Figura 53 - Série de preços de etanol ao produtor de janeiro de 2002 a outubro de 2010	47
Figura 54 - Série de consumo de janeiro de 2000 a julho de 2010 de etanol nas regiões norte/nordeste e sul/sudeste/centro-oeste.	48
Figura 55 - Série de preços: Gasolina C x ESALQ de janeiro de 2002 a dezembro de 2004. .	48
Figura 56 - Série de preços: etanol nos EUA e etanol no Brasil de maio de 2005 a setembro de 2010.	49
Figura 57 - Balanço oferta e demanda anual de álcool combustível na região centro-sul do país. Série de 2002 a 2009.	49
Figura 58 – Alta dos mercados de açúcar e álcool em 2009	50
Figura 59 - Série de preços x Método de Regressão com variáveis de tendência e sazonalidade	51
Figura 60 – Variáveis explicativas do preço do álcool.....	52
Figura 61 – Variáveis com mais de uma série de dados.....	52
Figura 62 - Método da Regressão aplicado à série de preços açúcar (mercado interno)	54
Figura 63 – Análise de resíduos para açúcar mercado interno	55
Figura 64 - Método da Regressão aplicado à série de preços de açúcar (mercado externo)	56
Figura 65 – Análise de resíduos para açúcar mercado externo	56
Figura 66 – Estoques de álcool na região Centro-Sul do Brasil.....	58
Figura 67 – Frota usuária de álcool e consumo de álcool no Brasil.....	59
Figura 68 - Método da Regressão aplicado à série de preços açúcar + variável E/C.....	59
Figura 69 - Análise de resíduos para açúcar + E/C	60
Figura 70 – Método da Regressão aplicado à série de preços açúcar + variável “dummy” de sazonalidade.....	61
Figura 71 – Resíduos da regressão linear multivariada com as variáveis açúcar e “dummies” de sazonalidade.....	62
Figura 72 – Método da Regressão aplicado à série de preços açúcar + variável “dummy” de sazonalidade + preço da gasolina	63
Figura 73 – Resíduos da regressão linear multivariada com as variáveis açúcar, sazonalidade e preço da gasolina	64
Figura 74 – Valores-p das variáveis preço do açúcar e preço da gasolina	65
Figura 75 – Coeficientes das variáveis preço do açúcar e preço da gasolina.....	65
Figura 76 – Valores-p das variáveis de sazonalidade.....	65
Figura 77 – Coeficientes das variáveis de sazonalidade.....	65
Figura 78 – Previsão pelo método de Holt-Winters	68
Figura 79 – Erros do método de Holt Winters	68
Figura 80 – Previsão pelo método da regressão	70
Figura 81 – Erros do método da regressão	71

Figura 82 – Previsão pelo método do filtro de Kalman.....	73
Figura 83 – Erros do método do filtro de Kalman.....	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de açúcar: milhões de toneladas/ano	25
Tabela 2 – Comparativo entre os critérios de erro.....	44
Tabela 3 – Resultados do método de Mood para análise de presença de sazonalidade	50
Tabela 4 – Séries estudadas	53
Tabela 5 – Resultados da regressão aplicada à série preço do açúcar no mercado interno	54
Tabela 6 – Resultados do teste ADF para a variável açúcar no mercado interno	55
Tabela 7 – Resultados da regressão aplicada à série preço do açúcar no mercado externo	56
Tabela 8– Resultados do teste ADF para a variável açúcar no mercado externo.....	57
Tabela 9 - Matriz de correlações entre as variáveis: açúcar interno e externo	57
Tabela 10 - Resultados da regressão aplicada à série preço do açúcar no mercado interno + variável E/C	60
Tabela 11– Resultados do teste ADF para a variável açúcar no mercado interno + variável E/C	60
Tabela 12 - Resultados da regressão aplicada à série preço do açúcar no mercado interno + variável sazonalidade.....	61
Tabela 13– Resultados do teste ADF para a variável açúcar no mercado interno + variável “dummy” de sazonalidade	62
Tabela 14 - Resultados da regressão aplicada à série preço do açúcar no mercado interno + variável sazonalidade + variável preço da gasolina	63
Tabela 15– Resultados do teste ADF para a variável açúcar no mercado interno + variável “dummy” de sazonalidade + variável preço da gasolina.....	64
Tabela 16 – Coeficientes obtidos do método de Winters	68
Tabela 17 – Erros do método de Winters	68
Tabela 18 – Previsão do método de Winters	69
Tabela 19 – Coeficientes calculados do método da Regressão	70
Tabela 20 – Erros do método da regressão.....	70
Tabela 21 – Previsão do método da regressão.....	71
Tabela 22 – Erros do filtro de Kalman	73
Tabela 23 – Previsão do filtro de Kalman	74
Tabela 24 – Tabela de resultados consolidados.....	75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Apresentação da empresa	1
1.2. Estágio	3
1.3. A previsão de preços.....	4
1.4. Estrutura do Trabalho	5
2. CONCEITOS BÁSICOS.....	7
2.1. Histórico do setor	7
2.1.1. 1930 – 1960	7
2.1.2. 1960 – 1978	7
2.1.3. 1979 – 1985	9
2.1.4. 1985 – Período atual	10
2.2. Processos agroindustriais e de comercialização	13
2.2.1. Etapa agrícola	13
2.2.2. Etapa industrial	16
2.2.3. Etapa comercial	19
2.3. Mercados de açúcar e álcool.....	22
2.3.1. O mercado mundial de açúcar	22
2.3.2. O mercado nacional de combustíveis	27
2.4. Métodos de previsão.....	30
2.4.1. Processos estocásticos e séries temporais: Conceitos Básicos	32
2.4.2. Modelos Lineares	36
2.4.3. Modelos de Suavização Exponencial	39
2.4.4. Modelos de Espaço de Estados.....	41
2.4.5. Critérios de Erro	44
3. ANÁLISE DOS MODELOS E RESULTADOS	46
3.1. Análise qualitativa	47
3.2. Análise de tendência e sazonalidade	50
3.3. Seleção das variáveis explicativas.....	51
3.3.1. Análise estatística da variável açúcar	53
3.3.2. Análise estatística das variáveis de oferta e demanda	58
3.3.3. Análise estatística da variável preço de gasolina.....	62
3.4. Análise dinâmica das variáveis.....	64
3.5. Resultados e comparativo entre os modelos.....	66
3.5.1. Método de Holt-Winters.....	66
3.5.2. Método da Regressão Linear Multivariada	69
3.5.3. O filtro de Kalman.....	71
3.6. Resultados consolidados.....	75
4. CONCLUSÃO.....	76
5. BIBLIOGRAFIA	78
Apêndice A - Teste de Estacionariedade: Raiz Unitária	82
Apêndice B - Critério para seleção dos coeficientes no método de Winters.....	84
Apêndice C - Método dos Mínimos Quadrados: Forma Matricial.....	85
Apêndice D - Algoritmo para seleção dos coeficientes do filtro de Kalman	86
Apêndice E - Teste de Mood	87
ANEXO I - Estrutura de Formação de Preços: Gasolina C.....	88
ANEXO II – Valores críticos do coeficiente de correlação	90
GLOSSÁRIO.....	91